

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-161162

(P2010-161162A)

(43) 公開日 平成22年7月22日(2010.7.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 1 4 A	5 F 0 0 4
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 0 2 C	5 F 0 4 6
	HO 1 L 21/302 1 0 4 H	

審査請求 有 請求項の数 14 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2009-1745 (P2009-1745)  
 (22) 出願日 平成21年1月7日(2009.1.7)

(71) 出願人 000219967  
 東京エレクトロン株式会社  
 東京都港区赤坂五丁目3番1号  
 (74) 代理人 100070150  
 弁理士 伊東 忠彦  
 (72) 発明者 曾根 隆  
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i  
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内  
 (72) 発明者 西村 栄一  
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i  
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内  
 Fターム(参考) 5F004 AA09 DA00 DA01 DA16 DA18  
 DA26 DA27 DB26 EA03 EA37  
 5F046 AA11

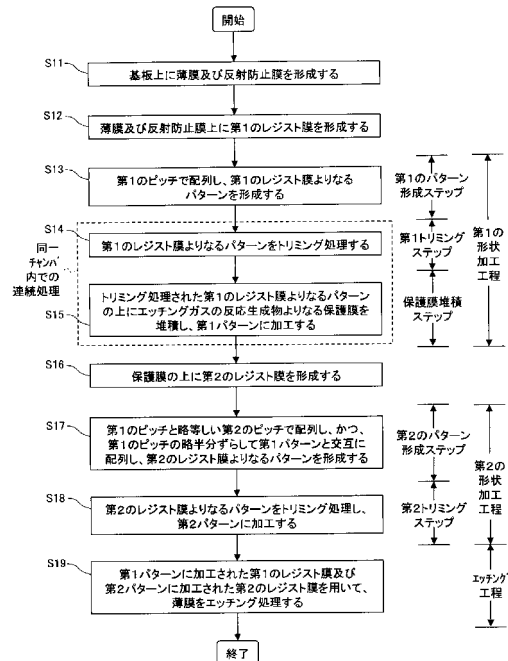
(54) 【発明の名称】 微細パターンの形成方法

(57) 【要約】

【課題】 L L Eにより微細パターンを形成する際に、工程数を削減することができ、第1パターンと第2パターンのC D値の差を小さくすることができる微細パターンの形成方法を提供する。

【解決手段】 第1の形状加工工程と、第2の形状加工工程と、エッチング工程とを有し、第1の形状加工工程は、第1のレジスト膜よりなるパターンを形成する第1のパターン形成ステップS 1 3と、そのパターンをトリミング処理する第1トリミングステップS 1 4と、そのパターンの上にエッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積し、第1パターンに加工する保護膜堆積ステップS 1 5とを有し、第2の形状加工工程は、第1パターンと交互に配列し、第2のレジスト膜よりなるパターンを形成する第2のパターン形成ステップS 1 7と、そのパターンをトリミング処理し、第2パターンに加工する第2トリミングステップS 1 8とを有する。

【選択図】 図 1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

第 1 の形状加工工程と、第 2 の形状加工工程と、エッチング工程とを有し、基板上に形成した薄膜の微細加工を行う微細パターンの形成方法であって、

前記第 1 の形状加工工程は、

前記薄膜の上に、第 1 のピッチで配列し、第 1 のレジスト膜よりなるパターンを形成する第 1 のパターン形成ステップと、

前記第 1 のレジスト膜よりなるパターンをトリミング処理する第 1 トリミングステップと、

トリミング処理された前記第 1 のレジスト膜よりなるパターンの上にエッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積し、第 1 パターンに加工する保護膜堆積ステップとを有し、

前記第 2 の形状加工工程は、

前記保護膜の上に、前記第 1 のピッチと略等しい第 2 のピッチで配列し、かつ、前記第 1 のピッチの略半分ずらして前記第 1 パターンと交互に配列し、第 2 のレジスト膜よりなるパターンを形成する第 2 のパターン形成ステップと、

前記第 2 のレジスト膜よりなるパターンをトリミング処理し、第 2 パターンに加工する第 2 トリミングステップと

を有し、

前記エッチング工程において、前記第 1 パターンに加工された前記第 1 のレジスト膜及び前記第 2 パターンに加工された前記第 2 のレジスト膜を用いて、前記薄膜をエッチング処理することを特徴とする微細パターンの形成方法。

**【請求項 2】**

前記第 1 のパターン形成ステップにおいて、ハードマスク膜で被覆された前記薄膜の上に第 1 のレジスト膜よりなるパターンを形成し、

前記エッチング工程において、前記第 1 パターンに加工された前記第 1 のレジスト膜及び前記第 2 パターンに加工された前記第 2 のレジスト膜を用いて、前記ハードマスク膜をエッチング処理し、前記第 1 パターン及び前記第 2 パターンよりなる第 3 パターンに加工された前記ハードマスク膜を用いて、前記薄膜をエッチング処理することを特徴とする、請求項 1 に記載の微細パターンの形成方法。

**【請求項 3】**

前記保護膜堆積ステップにおいて、エッチング装置内でエッチングガスを供給して保護膜を堆積することを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の微細パターンの形成方法。

**【請求項 4】**

前記第 1 トリミングステップにおいて、前記エッチング装置内でトリミング処理を行い、

前記保護膜堆積ステップにおいて、前記エッチング装置内で引続き保護膜を堆積することを特徴とする、請求項 3 に記載の微細パターンの形成方法。

**【請求項 5】**

前記第 1 パターン形成ステップにおいて、反射防止膜を介して第 1 のレジスト膜よりなるパターンを形成することを特徴とする、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の微細パターンの形成方法。

**【請求項 6】**

前記第 1 トリミングステップのトリミング処理する時間と、前記保護膜堆積ステップの保護膜を堆積する時間とを制御することにより、所定の線幅を有する前記第 1 のパターンに加工し、

前記第 2 のパターンの線幅が前記所定の線幅と等しくなるように、前記第 2 トリミングステップのトリミング処理する時間を制御することを特徴とする、請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の微細パターンの形成方法。

**【請求項 7】**

前記薄膜は、 $\text{SiN}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、アモルファスシリコン、ポリシリコンのうちの少なくとも一つであることを特徴とする、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の微細パターンの形成方法。

【請求項 8】

前記反射防止膜は、アモルファスカーボン、ポリフェノール、フォトレジストのうちの少なくとも一つであることを特徴とする、請求項 5 に記載の微細パターンの形成方法。

【請求項 9】

前記エッチングガスは、フルオロカーボンを含むことを特徴とする、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の微細パターンの形成方法。

【請求項 10】

前記エッチングガスは、ハロゲン含有ガスを含むことを特徴とする、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の微細パターンの形成方法。

【請求項 11】

前記フルオロカーボンは、 $\text{CH}_3\text{F}$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{CF}_4$  のうちの少なくとも一つであることを特徴とする、請求項 9 に記載の微細パターンの形成方法。

【請求項 12】

前記ハロゲン含有ガスは、 $\text{HBr}$ 、 $\text{SF}_6$  のうちの少なくとも一つであることを特徴とする請求項 10 に記載の微細パターンの形成方法。

【請求項 13】

前記第 1 トリミングステップにおいて、酸素含有ガスプラズマ又はオゾンガスを用いてトリミング処理することを特徴とする、請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の微細パターンの形成方法。

【請求項 14】

前記酸素含有ガスプラズマは、 $\text{O}_2$  ガス、 $\text{NO}$  ガス、 $\text{N}_2\text{O}$  ガス、 $\text{H}_2\text{O}$  ガス、 $\text{O}_3$  ガスのうちの少なくとも一つをプラズマ化したものであることを特徴とする請求項 13 に記載の微細パターンの形成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体プロセスに用いられる微細パターンの形成方法に係り、特に露光装置の解像限界以下のパターンの形成において、製造プロセスのコストを増大させることなくパターン寸法を高精度に調整することができる微細パターンの形成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの高集積化に伴って、製造プロセスに要求される配線や分離幅は、微細化されてきている。一般的に、微細パターンは、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングのマスクに用いて下地の各種薄膜をエッチングすることで形成される。従って、微細パターンを形成するためにはフォトリソグラフィ技術が重要であるが、近時の半導体デバイスの微細化は、フォトリソグラフィ技術の解像限界以下を要求するまでに至っている。特に、現在主流である ArF 液浸露光技術の解像限界は、 $4 \times \text{nm}$  世代で限界に達すると言われているため、更に微細な  $3 \times \text{nm}$  世代では、ダブルパターンニング技術 (Double Patterning: DP) という微細化技術によって達成されようとしており、現在ダブルパターンニング技術の開発が盛んに行われている。

【0003】

このような解像限界以下のパターンを形成する技術は、例えば、特許文献 1 に記載されている。

【0004】

特許文献 1 は、第 1 の感光膜パターン (以下「第 1 パターン」という) を形成し、第 1 パターンをベークした後、第 1 パターン上に酸化膜を形成する。その後、第 1 パターン同士の間第 2 の感光膜パターン (以下「第 2 パターン」という) を形成し、第 1 パターン

10

20

30

40

50

及び第2パターンをエッチングマスクに用いて下地の薄膜をエッチングして微細パターンを形成する。

【0005】

特許文献1によれば、2つの露光マスクを利用して微細パターンを形成するので、1つの露光マスクを利用して微細パターンを形成する場合に比較して2倍以上の分解能を得ることができる。このため、解像限界以下の微細パターンを形成することができる。

【0006】

上記を含め、解像限界以下の微細パターンを形成する形成方法として、S W T (サイドウォールトランスファー: Side Wall Transfer)、L E L E (リソグラフィ・エッチング - リソグラフィ・エッチング: Lithography Etching Lithography Etching)、L L E (リソグラフィ・リソグラフィ・エッチング: Lithography Lithography Etching)が注目されている。L E L Eは、1回目の露光(第1パターン)を行った後、1回目のエッチングを行い、2回目の露光(第2パターン)を行った後、2回目のエッチングを行う。L L Eは、1回目の露光(第1パターン)、2回目の露光(第2パターン)を行った後、エッチングを行う。従って、L L Eは、露光とエッチングを交互に2回ずつ行うL E L Eに比べ、エッチングの工程が1回減ることによって製造コストを削減することができる。

10

【0007】

このようにL L Eによりパターンニング方法を行う場合、第1パターンが形成された基板上に第2パターンを形成するために第2のレジスト膜を塗布する際に、第2のレジスト膜に含有される有機溶剤等の溶剤により第1パターンが溶解することを防止するために、第1パターンを保護(レジストフリージング)する必要がある。第1パターンを保護する技術として、第1パターン上に保護膜としてシリコン酸化膜を形成する技術があり、例えば、特許文献2に記載されている。

20

【0008】

特許文献2は、解像限界以下の微細パターンを形成する方法は記載していないが、レジストパターン上に酸化膜を形成することで、レジストパターンの薄型化現象を防止でき、形成された微細パターンにストリーションやウィグリングが生ずることを防止できる技術が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0009】

【特許文献1】特許第2757983号公報

【特許文献2】特開2004-080033号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

ところが、L L Eにおいて第1パターンを保護するために第1パターン上にシリコン酸化膜を成膜する場合、次のような問題があった。

【0011】

シリコン酸化膜の成膜プロセスは、シリコン酸化膜を成膜する成膜装置中で、有機シリコンを含む第1のガスと、活性化された酸素種を含む第2のガスを基板上に供給して成膜を行うプロセスである。そのため、工程数が増大し、プロセス条件も複雑になるという問題があった。

40

【0012】

特に、L L Eによる微細パターンの形成方法の第1パターン及び第2パターンを形成する工程を行う場合、第1パターンのC D値(限界寸法: Critical Dimension)値と、第2パターンのC D値とが同一の寸法になるように制御する必要がある。しかしながら、第1パターン上にはシリコン酸化膜が形成されているが、第1パターンのC D値と第2パターンのC D値とを同一の寸法にすることができないという問題があった。

【0013】

50

具体的には、第1パターン上にシリコン酸化膜が形成された場合、第2パターンを形成する際に用いられる有機溶剤及び現像液に対する第1パターンの耐性が悪いため、第2パターンを形成する際に第1パターンの形状が変化してしまい、第1パターンのCD値と第2パターンのCD値とを同一の寸法にすることができないという問題があった。

【0014】

更に、形成された第1パターン及び第2パターンをエッチングマスクに用い、その下層の被エッチング層をエッチングする場合、エッチングマスク自体に対する被エッチング層のエッチングレート比（選択比）が第1パターンと第2パターンとの間で異なり、第1パターンを転写した被エッチング層のパターンのCD値と、第2パターンを転写した被エッチング層のパターンのCD値とを同一の寸法にすることができないという問題があった。

10

【0015】

本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、LLEプロセスにより微細パターンを形成する際に、工程数を削減することができるとともに、第1パターンのCD値と第2パターンのCD値との差を小さくすることができ、第1パターンを転写した被エッチング層のパターンのCD値と、第2パターンを転写した被エッチング層のパターンのCD値との差を小さくすることができる微細パターンの形成方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記の課題を解決するために本発明では、次に述べる各手段を講じたことを特徴とするものである。

20

【0017】

第1の発明は、第1の形状加工工程と、第2の形状加工工程と、エッチング工程とを有し、基板上に形成した薄膜の微細加工を行う微細パターンの形成方法であって、前記第1の形状加工工程は、前記薄膜の上に、第1のピッチで配列し、第1のレジスト膜よりなるパターンを形成する第1のパターン形成ステップと、前記第1のレジスト膜よりなるパターンをトリミング処理する第1トリミングステップと、トリミング処理された前記第1のレジスト膜よりなるパターンの上にエッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積し、第1パターンに加工する保護膜堆積ステップとを有し、前記第2の形状加工工程は、前記保護膜の上に、前記第1のピッチと略等しい第2のピッチで配列し、かつ、前記第1のピッチの略半分ずらして前記第1パターンと交互に配列し、第2のレジスト膜よりなるパターンを形成する第2のパターン形成ステップと、前記第2のレジスト膜よりなるパターンをトリミング処理し、第2パターンに加工する第2トリミングステップとを有し、前記エッチング工程において、前記第1パターンに加工された前記第1のレジスト膜及び前記第2パターンに加工された前記第2のレジスト膜を用いて、前記薄膜をエッチング処理することを特徴とする。

30

【0018】

第2の発明は、第1の発明に係る微細パターンの形成方法において、前記第1のパターン形成ステップにおいて、ハードマスク膜で被覆された前記薄膜の上に第1のレジスト膜よりなるパターンを形成し、前記エッチング工程において、前記第1パターンに加工された前記第1のレジスト膜及び前記第2パターンに加工された前記第2のレジスト膜を用いて、前記ハードマスク膜をエッチング処理し、前記第1パターン及び前記第2パターンよりなる第3パターンに加工された前記ハードマスク膜を用いて、前記薄膜をエッチング処理することを特徴とする。

40

【0019】

第3の発明は、第1又は第2の発明に係る微細パターンの形成方法において、前記保護膜堆積ステップにおいて、エッチング装置内でエッチングガスを供給して保護膜を堆積することを特徴とする。

【0020】

第4の発明は、第3の発明に係る微細パターンの形成方法において、前記第1トリミングステップにおいて、前記エッチング装置内でトリミング処理を行い、前記保護膜堆積ス

50

トップにおいて、前記エッチング装置内で引続き保護膜を堆積することを特徴とする。

【0021】

第5の発明は、第1乃至第4のいずれか一つの発明に係る微細パターンの形成方法において、前記第1パターン形成ステップにおいて、反射防止膜を介して第1のレジスト膜よりなるパターンを形成することを特徴とする。

【0022】

第6の発明は、第1乃至第5のいずれか一つの発明に係る微細パターンの形成方法において、前記第1トリミングステップのトリミング処理する時間と、前記保護膜堆積ステップの保護膜を堆積する時間とを制御することにより、所定の線幅を有する前記第1のパターンに加工し、前記第2のパターンの線幅が前記所定の線幅と等しくなるように、前記第2トリミングステップのトリミング処理する時間を制御することを特徴とする。

10

【0023】

第7の発明は、第1乃至第6のいずれか一つの発明に係る微細パターンの形成方法において、前記薄膜は、SiN、SiO<sub>2</sub>、アモルファスシリコン、ポリシリコンのうちの少なくとも一つであることを特徴とする。

【0024】

第8の発明は、第5の発明に係る微細パターンの形成方法において、前記反射防止膜は、アモルファスカーボン、ポリフェノール、フォトレジストのうちの少なくとも一つであることを特徴とする。

【0025】

第9の発明は、第1乃至第6のいずれか一つの発明に係る微細パターンの形成方法において、前記エッチングガスは、フルオロカーボンを含むことを特徴とする。

20

【0026】

第10の発明は、第1乃至第6のいずれか一つの発明に係る微細パターンの形成方法において、前記エッチングガスは、ハロゲン含有ガスを含むことを特徴とする。

【0027】

第11の発明は、第9の発明に係る微細パターンの形成方法において、前記フルオロカーボンは、CH<sub>3</sub>F、CHF<sub>3</sub>、CF<sub>4</sub>のうちの少なくとも一つであることを特徴とする。

【0028】

第12の発明は、第10の発明に係る微細パターンの形成方法において、前記ハロゲン含有ガスは、HBr、SF<sub>6</sub>のうちの少なくとも一つであることを特徴とする。

30

【0029】

第13の発明は、第1乃至第6のいずれか一つの発明に係る微細パターンの形成方法において、前記第1トリミングステップにおいて、酸素含有ガスプラズマ又はオゾンガスを用いてトリミング処理することを特徴とする。

【0030】

第14の発明は、第13の発明に係る微細パターンの形成方法において、前記酸素含有ガスプラズマは、O<sub>2</sub>ガス、NOガス、N<sub>2</sub>Oガス、H<sub>2</sub>Oガス、O<sub>3</sub>ガスのうちの少なくとも一つをプラズマ化したものであることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0031】

本発明によれば、LLEプロセスにより微細パターンを形成する際に、工程数を削減することができるとともに、第1パターンのCD値と第2パターンのCD値との差を小さくすることができ、第1パターンを転写した被エッチング層のパターンのCD値と、第2パターンを転写した被エッチング層のパターンのCD値との差を小さくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る微細パターンの形成方法の各工程の手順を説明するためのフローチャートである。

50

【図 2 A】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、各工程における微細パターンの構造を模式的に示す断面図（その 1）である。

【図 2 B】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、各工程における微細パターンの構造を模式的に示す断面図（その 2）である。

【図 2 C】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、各工程における微細パターンの構造を模式的に示す断面図（その 3）である。

【図 3】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法に使用されるエッチング装置の構成を模式的に示す縦断面図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、第 1 トリミングステップ及び保護膜堆積ステップにおける微細パターンの構造を模式的に示す断面図である。

10

【図 5】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、保護膜堆積ステップを従来の方法で行う場合の第 1 トリミングステップ及び保護膜堆積ステップにおける微細パターンの構造を模式的に示す断面図である。

【図 6】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、実施例 1 で保護膜を堆積した場合の微細パターンの断面形状を、写真と、写真を説明する図とで示す図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、実施例 1 の条件のうち堆積時間を変化させた場合の堆積時間と C D 変化量との関係を示すグラフである。

20

【図 8】本発明の第 2 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法の各工程の手順を説明するためのフローチャートである。

【図 9 A】本発明の第 2 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、各工程における微細パターンの構造を模式的に示す断面図（その 1）である。

【図 9 B】本発明の第 2 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、各工程における微細パターンの構造を模式的に示す断面図（その 2）である。

【図 9 C】本発明の第 2 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、各工程における微細パターンの構造を模式的に示す断面図（その 3）である。

【図 10】本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を従来と比較して説明するための図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0033】

次に、本発明を実施するための最良の形態について第 1 の実施の形態及び第 2 の実施の形態を例示し、図面と共に説明する。

【0034】

本発明に係る微細パターンの形成方法においては、微細パターンに加工される膜である薄膜の上層にハードマスク膜が設けられていてもよく、あるいは設けられていなくてもよい。従って、本発明における第 1 の実施の形態及び第 2 の実施の形態は、それぞれハードマスク膜が設けられていない場合及びハードマスク膜が設けられている場合に相当する。

（第 1 の実施の形態）

40

図 1 乃至図 7 を参照し、本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法及び成膜装置を説明する。

【0035】

初めに、図 1 乃至図 2 C を参照し、本発明の第 1 の実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明する。

【0036】

図 1 は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法の各工程の手順を説明するためのフローチャートである。図 2 A 乃至図 2 C は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、各工程における微細パターンの構造を模式的に示す断面図である。また、図 1 の、ステップ S 1 1 乃至ステップ S 1 9 の各々の工程が行われた後の

50

微細パターンの構造は、図 2 A ( a ) 乃至図 2 C ( i ) の各々の断面図で示される構造に対応する。

【 0 0 3 7 】

本実施の形態に係る微細パターンの形成方法は、図 1 に示すように、第 1 の形状加工工程と、第 2 の形状加工工程と、エッチング工程とを有し、基板上に形成した薄膜の微細加工を行う微細パターンの形成方法である。始めに、第 1 の形状加工工程を行う。第 1 の形状加工工程は、薄膜及び反射防止膜を形成するステップと、第 1 のレジスト膜を形成するステップと、第 1 のパターン形成ステップと、第 1 トリミングステップと、保護膜堆積ステップとを含む。第 1 の形状加工工程を行った後、第 2 の形状加工工程を行う。第 2 の形状加工工程は、第 2 のレジスト膜を形成するステップと、第 2 のパターン形成ステップと、第 2 トリミングステップとを含む。第 2 の形状加工工程を行った後、薄膜をエッチング処理するエッチング工程を行う。薄膜及び反射防止膜を形成するステップはステップ S 1 1 の工程を含み、第 1 のレジスト膜を形成するステップはステップ S 1 2 の工程を含み、第 1 のパターン形成ステップはステップ S 1 3 の工程を含み、第 1 トリミングステップはステップ S 1 4 の工程を含み、保護膜堆積ステップはステップ S 1 5 の工程を含み、第 2 のレジスト膜を形成するステップはステップ S 1 6 の工程を含み、第 2 のパターン形成ステップはステップ S 1 7 の工程を含み、第 2 トリミングステップはステップ S 1 8 の工程を含み、薄膜をエッチング処理するエッチング工程はステップ S 1 9 の工程を含む。

10

【 0 0 3 8 】

なお図 1 に示すように、ステップ S 1 4 とステップ S 1 5 の工程は、同一チャンバ（処理容器）内で連続処理される。

20

【 0 0 3 9 】

ステップ S 1 1 は、半導体基板上に薄膜及び反射防止膜を形成する工程である。図 2 A ( a ) は、ステップ S 1 1 の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

【 0 0 4 0 】

ステップ S 1 1 では、図 2 A ( a ) に示すように、半導体基板 1 0 1 上に、薄膜 1 0 2 を形成する。薄膜 1 0 2 は後に微細パターンに加工される膜である。次いで、薄膜 1 0 2 上に反射防止材料を塗布し、反射防止膜（BARC：Bottom Anti-Reflecting Coating）1 0 3 を形成する。

30

【 0 0 4 1 】

なお、半導体基板 1 0 1 は、半導体、例えば、シリコン基板のみを示すものではなく、半導体基板内、又は半導体基板上に形成された半導体素子や集積回路パターンに対応した導電膜、これらを絶縁する層間絶縁膜が形成された構造体とを含む、と定義する。

【 0 0 4 2 】

薄膜 1 0 2 の材質は、特に限定されるものではなく、例えば Si N、Si O<sub>2</sub> などの絶縁膜、アモルファスシリコン、ポリシリコンのような導電膜を用いることができる。本実施の形態では、Si N よりなる薄膜 1 0 2 を例示する。また、薄膜 1 0 2 の厚さは、特に限定されるものではなく、例えば 2 0 ~ 2 0 0 nm とすることができる。

40

【 0 0 4 3 】

反射防止膜（BARC）1 0 3 の材質は、特に限定されるものではなく、例えば化学気相法（CVD：Chemical Vapor Deposition）により成膜されたアモルファスカーボン、スピノンにより成膜されたポリフェノールや i 線レジスト等のフォトレジストを含む広範な有機系の材料を用いることができる。また、反射防止膜（BARC）1 0 3 の厚さは、特に限定されるものではなく、例えば 3 0 ~ 3 0 0 nm とすることができる。

【 0 0 4 4 】

次に、ステップ S 1 2 及びステップ S 1 3 の 1 回目のフォトリソグラフィを行う。

【 0 0 4 5 】

ステップ S 1 2 は、第 1 のレジスト膜 1 0 4 を成膜する工程である。図 2 A ( b ) は、ステップ S 1 2 の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

50



## 【0046】

図2A(b)に示すように、反射防止膜(BARC)103上にレジストを塗布し、第1のレジスト膜104を形成する。

## 【0047】

第1のレジスト膜104の材質は、例えばArFレジストを用いることができる。また、第1のレジスト膜104の厚さは、特に限定されるものではなく、例えば50~200nmとすることができる。

## 【0048】

次に、ステップS13を含む第1のパターン形成ステップを行う。ステップS13は、成膜された第1のレジスト膜104を露光、現像して第1のレジスト膜よりなるパターン104aを形成する工程である。また、図2A(c)は、ステップS13の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

10

## 【0049】

図2A(c)に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて、第1のレジスト膜104を、第1のピッチp1を有し、第1のレジスト膜よりなるパターン104aに加工する。従って、第1のレジスト膜よりなるパターン104aは、第1のピッチp1で配列する。また、本実施の形態では、第1のレジスト膜よりなるパターン104aの一例として、第1のピッチp1を露光装置の解像限界とする。

## 【0050】

次に、ステップS14を含む第1トリミングステップを行う。ステップS14は、第1のレジスト膜よりなるパターン104aをトリミング処理(第1回トリミング処理)し、第1のレジスト膜よりなるパターン104bを形成する工程である。また、図2A(d)は、ステップS14の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

20

## 【0051】

なお、トリミング処理は、本発明における各形状加工工程の各トリミングステップにおける形状を加工する処理に相当し、スリミング処理又はシュリンク処理ともいう。

## 【0052】

トリミング処理の方法は、特に限定されるものではなく、トリミング処理の条件の一例は、酸素ラジカル、又はオゾンガスを含む雰囲気中、温度は室温~100である。また、図2A(c)及び図2A(d)に示されるように、トリミング処理されてできる第1のレジスト膜よりなるパターン104bのライン幅は、トリミング処理を行う前の第1のレジスト膜よりなるパターン104aのライン幅に比べ細くなる。

30

## 【0053】

本実施の形態において、ステップS14は、酸素含有ガスプラズマ又はオゾンガスを用い、エッチング装置の処理容器内で行われる。また、酸素含有ガスプラズマは、O<sub>2</sub>ガス、NOガス、N<sub>2</sub>Oガス、H<sub>2</sub>Oガス、O<sub>3</sub>ガスのうちの少なくとも一つをプラズマ化したものを用いることができる。

## 【0054】

次に、ステップS14に引続いて、エッチング装置の処理容器内でステップS15の工程を含む保護膜堆積ステップを行う。ステップS15は、エッチング装置の処理容器内にエッチングガスを供給し、トリミング処理された第1のレジスト膜よりなるパターン104b及び反射防止膜(BARC)103上に、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜105を堆積させ、第1パターン104cに加工する保護膜堆積処理(レジストフリーエッチング処理又はハードニング処理)を行う保護膜堆積ステップである。また、図2B(e)は、ステップS15の工程が行われた後の半導体装置の構造を示す断面図である。

40

## 【0055】

フルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスを含むエッチングガスをエッチング装置の処理容器内に供給し、エッチングガスが単独で又は第1のレジスト膜よりなるパターン104b若しくは反射防止膜(BARC)103の表面と反応して生成する反応生成物よりなる保護膜105を堆積する。その結果、図2B(e)に示されるように、第1のレジス

50

ト膜よりなるパターン104bが形成されている部分(ライン)及び形成されていない部分(スペース)を含め、基板全面にエッチングガスの反応生成物よりなる保護膜105が堆積する。保護膜105が堆積することによって、第1のレジスト膜よりなるパターン104bは、図2B(e)に示されるように、第1パターン104cに加工される。

【0056】

フルオロカーボンガスとして、特に限定されるものではないが、例えば $\text{CH}_3\text{F}$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ のうち少なくとも一つを用いることができる。また、ハロゲン含有ガスとして、特に限定されるものではないが、例えば $\text{HBr}$ 、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{HCl}$ のうち少なくとも一つを用いることができる。また、 $\text{Ar}$ ガス又は酸素ガスを添加して行うことができる。あるいは、 $\text{CF}_4/\text{N}_2$ や $\text{C}_4\text{F}_8/\text{N}_2$ のような原料ガスの混合ガスを用いることができる。

10

【0057】

次に、ステップS16及びステップS17の2回目のフォトリソグラフィを行う。

【0058】

ステップS16は、第2のレジスト膜107を成膜する工程である。図2B(f)は、ステップS16の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

【0059】

図2B(f)に示すように、保護膜105上にレジストを塗布し、第2のレジスト膜107を形成する。

【0060】

なお、ステップS15の工程が行われた後、ステップS16の工程を行う際に、保護膜105上に、再度反射防止材料を塗布して反射防止膜(BARC)を形成し、その後ステップS16を行ってもよい。その場合は、反射防止膜(BARC)が形成された保護膜105上にレジストを塗布し、第2のレジスト膜107を形成することになる。

20

【0061】

次に、ステップS17を含む第2のパターン形成ステップを行う。ステップS17は、成膜された第2のレジスト膜107を露光、現像して第2のピッチp2を有する第2のレジスト膜よりなるパターン107aを形成する工程である。また、図2B(g)は、ステップS17の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。このとき第2のレジスト膜よりなるパターン107aのピッチは、第2のピッチp2である。また、本実施の形態では、第2のレジスト膜よりなるパターン107aは、1回目のフォトリソグラフィでトリミング処理される前の第1のレジスト膜よりなるパターン104aと同じライン・アンド・スペースパターンである。従って、第2のレジスト膜よりなるパターン107aは、第1のピッチp1に略等しい第2のピッチp2で配列する。さらに、第2のレジスト膜よりなるパターン107aは、加工された第1パターン104cのライン間に配置され、第1パターン104cと第2のレジスト膜よりなるパターン107aとが交互に配置されるように加工する。すなわち、第2のレジスト膜よりなるパターン107aは、第1のピッチp1の略半分ずらして第1パターン104cと交互に配列する。

30

【0062】

次に、ステップS18を含む第2トリミングステップを行う。ステップS18は、第2のレジスト膜よりなるパターン107aをトリミング処理し、第2パターン107bに加工する工程である(第2回トリミング処理)。また、図2B(h)は、ステップS18の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。ここでも、トリミング処理の方法は、特に限定されるものではなく、トリミング処理の条件の一例は、酸素ラジカル、又はオゾンガスを含む雰囲気中、温度は室温~100である。

40

【0063】

第2回トリミング処理により、第1パターン104c及び第2パターン107bからなるレジストパターンが形成される。このレジストパターンは、第1パターン104cと第2パターン107bとが交互に配置されたパターンであるので、そのピッチp3は、ピッチp1、及びp2よりも狭いピッチ、本実施の形態では、ピッチp1及びp2のほぼ1/

50

2のピッチとなる。このように、別々に形成された第1パターン104cと第2パターン107bとを交互に配置することで、解像限界以下のピッチを有するレジストパターンを形成することができる。

【0064】

その後、ステップS19の工程を行う。図2C(i)に示すように、第1パターン104cに加工された第1のレジスト膜及び第2パターン107bに加工された第2のレジスト膜をエッチングのマスクに用いて、反射防止膜(BARC)103、保護膜105、及び薄膜102をエッチング処理し、薄膜102を所望とする微細パターンに加工する。加工された薄膜102のピッチp4は、第1パターン104c及び第2パターン107bよりなるパターンのピッチp3とほぼ同じとなるので、薄膜102よりなる微細パターンのピッチp4は、解像限界以下にできる。このようにして、本実施の形態では、解像限界以下のピッチを有する微細パターンを形成することができる。

10

【0065】

次に、図3を参照し、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法に使用されるエッチング装置について説明する。

【0066】

図3は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法に使用されるエッチング装置の構成を模式的に示す縦断面図である。

【0067】

図3に示すように、エッチング装置20は、処理容器(チャンバ)22と、チャンバ22内に配置されたウェハWの載置台23と、チャンバ22の上方において載置台23と対向するように配置されたシャワーヘッド24と、チャンバ22内のガス等を排気するTMP(Turbo Molecular Pump)25と、チャンバ22及びTMP25との間に配置され、チャンバ22内の圧力を制御する可変式バタフライバルブとしてAPC(Adaptive Pressure Control)バルブ26とを有する。

20

【0068】

載置台23には高周波電源27が整合器(Matcher)28を介して接続されており、高周波電源27は高周波電力を載置台23に供給する。これにより、載置台23は下部電極として機能する。また、整合器28は、載置台23からの高周波電力の反射を低減して高周波電力の載置台23への供給効率を最大にする。載置台23は高周波電源27から供給された高周波電力を処理空間Sに印加する。

30

【0069】

シャワーヘッド24は円板状の下部ガス供給部29及び円板状の上部ガス供給部30からなり、下部ガス供給部29に上部ガス供給部30が重ねられている。また、下部ガス供給部29及び上部ガス供給部30はそれぞれ第1のバッファ室31及び第2のバッファ室32を有する。第1のバッファ室31及び第2のバッファ室32はそれぞれガス通気孔33、34を介してチャンバ22内に連通する。

【0070】

初めに、トリミング処理が行われるための装置の構成及び動作を説明する。

【0071】

トリミング処理が行われるとき、第1のバッファ室31は酸素含有ガス供給系(図示しない)に接続されている。酸素含有ガス供給系は第1のバッファ室31へ酸素含有ガスを供給する。供給された酸素含有ガスはガス通気孔33を介してチャンバ22へ供給される。また、第2のバッファ室32は不活性ガス供給系(図示しない)に接続されている。不活性ガス供給系は第2のバッファ室32へ不活性ガスを供給する。供給された不活性ガスはガス通気孔34を介してチャンバ22内へ供給される。

40

【0072】

このとき、高周波電源27をオンにして高周波電界を形成し、この高周波電界により酸素含有ガス及び不活性ガスをプラズマ化する。そして、このようにプラズマ化された酸素含有ガス及び不活性ガスを処理容器22内に供給する。これにより、レジストパターンを

50

形成するレジストがアッシング処理されることによってレジストパターンの幅及び高さが減少し、トリミング処理が行われる。この処理の時間は60～600secの範囲が例示される。また、酸素含有ガスの流量は半導体ウェハWの搭載枚数によっても異なるが、100～20000mL/min(sccm)が例示され、不活性ガスの流量は半導体ウェハWの搭載枚数によっても異なるが、100～20000mL/min(sccm)が例示される。また、高周波電源27の周波数は13.56MHzが例示され、パワーとしては5～1000Wが採用される。また、この際の処理容器22内の圧力は、13.3～665Paが例示される。

#### 【0073】

酸素含有ガスとしては、 $O_2$ ガス、NOガス、 $N_2O$ ガス、 $H_2O$ ガス、 $O_3$ ガスを用いることができ、これらを高周波電界によりプラズマ化して用いる。酸素ラジカルであれば酸素含有ガスのプラズマに限らないが、酸素含有ガスのプラズマを形成することが好ましく、その中でも $O_2$ プラズマが好ましい。酸化剤として酸素ラジカル、特に酸素含有ガスのプラズマを用いることにより、トリミング処理を行う際の基板温度が300以下、さらには100以下、理想的には室温でもトリミング処理が可能である。また、不活性ガスとしては、Arガス、 $N_2$ ガスを用いることができる。

10

#### 【0074】

あるいは、酸素含有ガスに代え、 $CO_2$ を含む混合ガスを用いてもよい。この場合、 $CO_2$ を含む混合ガスが、エッチング装置の処理容器内に供給され、 $CO_2$ を含む混合ガスからプラズマが生成される。 $CO_2$ を含む混合ガスから生成されたプラズマからの生成物を用いて、トリミング処理が行われる。生成物には、 $O_2^+$ のようなイオン、Oや $O_2^*$ (準安定原子)のような中性原子が含まれる。

20

#### 【0075】

$CO_2$ を含む混合ガスを用いる場合、 $CO_2$ を含む混合ガスは、少なくとも25%の $CO_2$ を含むことが好ましい。また、 $CO_2$ を含む混合ガスは、少なくとも50%の $CO_2$ を含むことが、より好ましい。更に、 $CO_2$ を含む混合ガスは、少なくとも75%の $CO_2$ を含むことが、最も好ましい。例えば、 $CO_2$ を含む混合ガスとしては、 $CO_2 + O_2$ 、 $CO_2 + CO$ 、 $CO_2 + CO + O_2$ 、 $CO_2 + H_2O + O_2$ 、 $CO_2 + CO + H_2O$ 、 $CO_2 + N_2$ 、及び $CO_2 + H_2$ の組み合わせが挙げられる。これらの混合物または $CO_2$ に対して、様々な不活性ガスを追加してもよい。

30

#### 【0076】

$CO_2$ を含む混合ガスを用いる場合、トリミング処理は、0.1から600mTorrの間のチャンバ圧力で行うことが好ましい。また、トリミング処理は、1から200mTorrの間のチャンバ圧力で行うことが、より好ましい。更に、トリミング処理は、5から100mTorrの間のチャンバ圧力で行うことが、最も好ましい。

#### 【0077】

$CO_2$ を含む混合ガスを用いる場合、トリミング処理は、10から2000ワットの間の入力電力で実行されることが好ましい。また、トリミング処理は、50から1200ワットの間の入力電力で実行されることが、より好ましい。更に、トリミング処理は、100から1000ワットの間の入力電力で実行されることが、最も好ましい。

40

#### 【0078】

シャワーヘッド24には高周波電源35が整合器36を介して接続されており、高周波電源35は高周波電力をシャワーヘッド24に供給する。これにより、シャワーヘッド24は上部電極として機能する。また、整合器36は整合器28と同様の機能を有する。シャワーヘッド24は高周波電源35から供給された高周波電力を処理空間Sに印加する。

#### 【0079】

このエッチング装置20のチャンバ22内では、上述したように、載置台23及びシャワーヘッド24が処理空間Sに高周波電力を印加することにより、シャワーヘッド24から処理空間Sに供給された処理ガスを高密度のプラズマにしてイオンやラジカルを発生させ、該イオンやラジカルによってウェハWにエッチング処理を施す。

50

## 【0080】

また、シャワーヘッド24には載置台23に載置されたウェハWを上方から観測してウェハWのエッチングの終点を検出する電子顕微鏡を有する終点検出装置（図示しない）が配設されている。

## 【0081】

次に、保護膜堆積ステップ又はエッチング工程が行われるための装置の構成及び動作を説明する。

## 【0082】

保護膜堆積ステップ又はエッチング工程が行われるとき、第1のバッファ室31はフルオロカーボンガス供給系（図示しない）に接続されている。フルオロカーボンガス供給系は第1のバッファ室31へフルオロカーボンガスを供給する。供給されたフルオロカーボンガスはガス通気孔33を介してチャンバ22へ供給される。また、第2のバッファ室32はハロゲン含有ガス供給系（図示しない）に接続されている。ハロゲン含有ガス供給系は第2のバッファ室32へハロゲン含有ガスを供給する。供給されたハロゲン含有ガスはガス通気孔34を介してチャンバ22内へ供給される。フルオロカーボンガス及びハロゲン含有ガスは、本発明におけるエッチングガスに相当する。

10

## 【0083】

このとき、高周波電源27をオンにして高周波電界を形成し、この高周波電界によりフルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスをプラズマ化する。そして、このようにプラズマ化されたフルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスを処理容器22内に供給する。これにより、保護膜が堆積されるか、又は被エッチング層がエッチングされる。

20

## 【0084】

本実施の形態では、フルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスを含むエッチングガスは、被処理層をエッチングするためではなく、エッチングガス自体が又は被エッチング層と反応して生成する反応生成物よりなる保護層を堆積するために用いられる。この保護層を堆積する時間は、半導体ウェハWの搭載枚数や所望の保護層の厚さの目標値にもよるが、60～600secの範囲が例示される。また、フルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスを含むエッチングガスの流量は、フルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスの種類や半導体ウェハWの搭載枚数によっても異なるが、100～20000mL/min（sccm）が例示される。また、高周波電源27の周波数は13.56MHzが例示され、パワーとしては5～1000Wが採用される。また、この際の処理容器22内の圧力は、13.3～665Paが例示される。

30

## 【0085】

なお、高周波電源27、35は両方とも、27MHzから60MHzの電源と2MHzの電源とを備えてもよい。種々の組み合わせで、多様な周波数の高周波電源を載置台23、シャワーヘッド24に供給することができる。

## 【0086】

フルオロカーボンガスとして、前述したように、例えば $\text{CH}_3\text{F}$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ を用いることができ、ハロゲン含有ガスとして、前述したように、例えば $\text{HBr}$ 、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{HCl}$ を用いることができ、これらを高周波電界によりプラズマ化して用いる。

40

## 【0087】

なお、本実施の形態では、同一のチャンバ22において、第1トリミングステップと保護膜堆積ステップを行うが、二つのチャンバを隣接して配置し、チャンバ間をトランスファモジュール、ゲートバルブ等を介して気密可能に接続し、一つのチャンバにおいて第1トリミングステップが終了したウェハWを他のチャンバに移送し、引続いて保護膜堆積ステップを行うこともできる。

## 【0088】

また、複数のチャンバ、トランスファモジュール、ゲートバルブ等を配置するとともに、図示しないローダーモジュール、ロードロックモジュール、ウェハ載置台、フープ、当

50

を組合せることによって基板処理システムを構成することもでき、それらの各モジュールを、図示しないLCD (Liquid Crystal Display) よりなる表示部を備えたオペレーションパネル等によって作業者が制御することができる。

【0089】

次に、図4及び図5を参照し、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法の保護膜堆積ステップを行うことによって、工程を削減することができる作用効果について説明する。

【0090】

図4は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、第1トリミングステップ及び保護膜堆積ステップにおける微細パターンの構造を模式的に示す断面図である。図5は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、保護膜堆積ステップを従来の方法で行う場合の第1トリミングステップ及び保護膜堆積ステップにおける微細パターンの構造を模式的に示す断面図である。図4(a)、図4(b)、図4(c)は、図2A(c)、図2A(d)、図2B(e)に対応し、図5(a)、図5(b)、図5(d)は、図2A(c)、図2A(d)、図2B(e)に対応する。

【0091】

本実施の形態に係る微細パターンの形成方法においては、図2A(c)に示す第1のパターン形成ステップが行われた後、第1のレジスト膜104が第1のレジスト膜よりなるパターン104aに加工された半導体ウェハWは、図4(a)に示すように、エッチング装置20内に導入される。次に、図4(b)に示すように、エッチング装置20内で酸素含有ガスプラズマ又はオゾンガスを用いて第1のレジスト膜よりなるパターン104aの形状を第1のレジスト膜よりなるパターン104bに加工する第1トリミングステップが行われる。次に、図4(c)に示すように、エッチング装置20内で引続いて、第1トリミングステップにより形状を加工された第1のレジスト膜よりなるパターン104b及び反射防止膜(BARC)103上に、フルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスを含むエッチングガスを供給し、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜105を堆積する保護膜堆積処理(レジストフリーzing処理又はハードニング処理)を行う保護膜堆積ステップが行われる。その後、エッチング装置から搬出され、図2B(f)に示す第2のレジスト膜107を形成する工程が行われる。

【0092】

一方、従来は、図5に示すように、図2A(c)に示す第1のパターン形成ステップが行われた後、第1のレジスト膜104が第1のレジスト膜よりなるパターン104aに加工された半導体ウェハWは、図5(a)に示すように、レジスト塗布装置20aに導入される。次に、図5(b)に示すように、レジスト塗布装置20a内でフォトリソグラフィ技術を用いて第1のレジスト膜よりなるパターン104aの形状を第1のレジスト膜よりなるパターン104bに加工する第1トリミングステップが行われる。第1のレジスト膜104が第1のレジスト膜よりなるパターン104bに加工された半導体ウェハWは、図5(c)に示すように、成膜装置40内に導入される。次に、図5(d)に示すように、成膜装置40内で、第1トリミングステップにより形状を加工された第1のレジスト膜よりなるパターン104b及び反射防止膜(BARC)103上に、アミノシラン系プリカーサと酸素含有ガスプラズマ又はオゾンガスとを用いてSiO<sub>2</sub>膜105aを成膜する成膜工程が行われる。成膜工程は、本実施の形態における保護膜堆積処理(レジストフリーzing処理又はハードニング処理)を行う保護膜堆積ステップに相当する。その後、半導体ウェハWはエッチング装置に導入され、図2B(f)に示す第2のレジスト膜107を形成する工程が行われる。

【0093】

図4(a)乃至図4(c)、図5(a)乃至図5(d)の工程を比較すると、図5に示す従来の微細パターンの形成方法では、図4に示す本実施の形態に係る微細パターンの形成方法よりも工程が多い。すなわち、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法におい

10

20

30

40

50

ては、従来、第1トリミングステップをレジスト塗布装置で行っていたところ、酸素含有ガスプラズマ又はオゾンガスに加えてフルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスを含むエッチングガスを供給する供給手段を具備したエッチング装置を用いることによって第1トリミングステップと保護膜堆積ステップとを連続して処理することができるため、工程を削減することができる。

【0094】

なお、図5で示した従来の方法の例として、第1トリミングステップを、レジスト塗布装置を用いて行う場合を示した。しかし、従来の方法は、レジスト塗布装置の代わりにアッシング装置を用い、フォトリソグラフィ技術の代わりに酸素含有ガスプラズマを用いて行う場合もあり、その場合も、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法においては、従来よりも工程を削減することができる。

10

【0095】

次に、本実施の形態に基づいて実際に微細パターンを形成した結果について説明する。

【0096】

最初に、実施例1として、エッチング装置内に酸素含有ガスを供給しながら第1トリミングステップである第1のレジスト膜よりなるパターンのトリミング処理を行った。トリミング処理の際のトリミング条件を表1に示す。

【0097】

【表1】

20

	圧力 (mTorr)	上部電極 の電力(W)	下部電極 の電力(W)	O <sub>2</sub> の 流量(sccm)	Arの 流量(sccm)	処理時間 (sec)
トリミング 条件	20	200	0	50	200	20

表1は、トリミング条件として、トリミング処理を行う際のエッチング装置の処理容器内の圧力、上部電極の電力、下部電極の電力、O<sub>2</sub>ガスの流量、Arガスの流量、処理時間を示す。ここでは、酸素含有ガスとしてO<sub>2</sub>ガス及びArガスの混合ガスを用いた。O<sub>2</sub>ガス及びArガスの流量は、それぞれ50mL/min(sccm)、200mL/min(sccm)とし、エッチング装置の処理容器内の圧力を2.66Pa(20mTorr)とした。上部電極に印加するバイアス電圧を200Wとし、下部電極にはバイアス電圧を印加しなかった(0W)。処理時間を20secとした。

30

【0098】

引き続き、エッチング装置内で、エッチングガスを供給し、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積する保護膜堆積処理(レジストフリージング処理又はハードニング処理)を行った。保護膜堆積処理(レジストフリージング処理又はハードニング処理)の際の保護膜の堆積条件を表2の実施例1に示す。

40

【0099】

【表 2】

	圧力 (mTorr)	上部電極 の電力 (W)	下部電極 の電力 (W)	CH <sub>3</sub> Fの 流量 (sccm)	SF <sub>6</sub> の 流量 (sccm)	HBrの 流量 (sccm)	処理時間 (sec)
実施例1 (CH <sub>3</sub> F/HBr)	20	200	0	100	-	100	55
実施例2 (HBr)	100	800	0	-	-	500	60
実施例3 (CH <sub>3</sub> F/SF <sub>6</sub> )	20	600	100	200	300	-	35

10

表 2 は、保護膜堆積処理を行う際のエッチング装置の処理容器内の圧力、上部電極の電力、下部電極の電力、エッチングガスの流量、処理時間を示す。実施例 1 では、エッチングガスとして、CH<sub>3</sub>F ガス及び HBr ガスの混合ガスを用いた。CH<sub>3</sub>F ガス及び HBr ガスの流量は、それぞれ 100 mL/min (sccm)、100 mL/min (sccm) とし、エッチング装置の処理容器内の圧力を 2.66 Pa (20 mTorr) とした。上部電極及び下部電極に印加するバイアス電圧を、それぞれ 600 W 及び 200 W とした。処理時間を 55 sec とした。

20

## 【0100】

このようにして、第 1 のレジスト膜よりなるパターン及び BARC の上にエッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積させ、第 1 のレジスト膜よりなるパターンを第 1 パターンに加工した基板を、エッチング装置の処理容器から取出し、有機溶剤に浸す有機溶剤浸漬処理又は現像液に浸す現像液浸漬処理を行った。有機溶剤として、アセトン系シンナーである PGME (プロピレングリコールメチルエーテル) および PGMEA (プロピレングリコールモノメチルエーテルアセテート) の 80 : 20 の混合液である OK82 (商品名: 東京応化工業社製) を用いた。上記の有機溶剤浸漬処理又は現像液浸漬処理の前後で、CD-SEM (Critical Dimension - Scanning Electron Microscope) を用いて、第 1 パターンよりなる微細パターンの CD 値寸法の測長を行った。図 6 に、実施例 1 で保護膜を堆積した場合の微細パターンの断面形状を SEM を用いて撮影した写真を示す。図 6 は、それぞれ保護膜を堆積した直後 (現像液浸漬処理を行う前) (図 6 (a))、及びその後現像液浸漬処理を行った後 (図 6 (b)) の微細パターンの断面形状を、写真と、写真を説明する図とで示す図である。図 6 (a) 及び図 6 (b) に示すように、第 1 パターンの幅寸法を CD 値、第 1 パターンの高さ と BARC 膜厚との合計を H とする。実施例 1 を行って得られた CD 値及び H を表 3 の実施例 1 に示す。

30

40

## 【0101】



【表 3】

	浸漬処理前		有機溶剤浸漬処理後		現像液浸漬処理後	
	第1パターンの CD値 (nm)	第1パターンの 高さ BARC厚の合計 H (nm)	CD値 (nm) / CD値変化率 (%)	H (nm) / H変化率 (%)	CD値(nm) / CD値変化率 (%)	H (nm) / H変化率 (%)
実施例1 (CH <sub>3</sub> F/HBr)	60	165	53 / -12	151 / -8.5	64 / 6.7	177 / 7.3
実施例2 (HBr)	38	118	(剥離)	(剥離)	49 / 29	127 / 7.6
実施例3 (CH <sub>3</sub> F/SF <sub>6</sub> )	62	153	59 / -4.8	152 / -0.7	65 / 4.8	145 / -5.2

表 3 は、第 1 パターンの幅寸法 C D 値、縦寸法 H を、浸漬処理前、有機溶剤浸漬処理後

10

20

30

40

50

、現像液浸漬処理後の3つの場合について測定した結果を示すものである。有機溶剤浸漬処理後、現像液浸漬処理後のCD値、Hについては、式(1)に示すように、浸漬処理前の値を基準とした場合の変化率を百分率で示している。

【0102】

【数1】

$$\text{浸漬処理後の変化率} = \frac{\text{浸漬処理後の値} - \text{浸漬処理前の値}}{\text{浸漬処理前の値}} \times 100 \quad (1)$$

10

例えば、表3の実施例1において、現像液浸漬処理後のCD値変化率である6.7%は、浸漬処理前のCD値が60nmであり、現像液浸漬処理後のCD値が64nmであることから、 $(64 - 60) / 60 \times 100 = 6.7$ によって求められたものである。

【0103】

次に、実施例2として、実施例1と同一のトリミング処理条件でトリミングを行った後(トリミング処理の際のプロセス条件を表1に示す。)、引き続き、エッチング装置の処理容器内で、異なるエッチングガスを供給し、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積する保護膜堆積処理(レジストフリージング処理又はハードニング処理)を行った。保護膜堆積処理(レジストフリージング処理又はハードニング処理)の際の保護膜の堆積条件を表2の実施例2に示す。

20

【0104】

実施例2では、エッチングガスとして、HBrガスを用いた。HBrガスの流量は、500mL/min(sccm)とし、エッチング装置の処理容器内の圧力を13.3Pa(100mTorr)とした。上部電極及び下部電極に印加するバイアス電圧を、それぞれ800W及び0Wとした。処理時間を60secとした。その後、実施例1と同様に、保護膜を堆積させた基板をエッチング装置の処理容器から取出し、有機溶剤に浸す有機溶剤浸漬処理又は現像液に浸す現像液浸漬処理を行い、有機溶剤浸漬処理又は現像液浸漬処理の前後で、第1パターンのCD値寸法の測長を行った。実施例2を行って得られたパターンの幅寸法及び高さ寸法を表3の実施例2に示す。

30

【0105】

表3に示すように、現像液浸漬処理の前後でのパターンの幅寸法の変化を比較すると、CH<sub>3</sub>Fガス及びHBrガスの混合ガスを用いた場合は、HBrガスを用いた場合に比べ、パターンの幅寸法の増加分が少なくなっている。現像液浸漬処理後にパターンの幅寸法が増加することは、現像液浸漬処理によって第1パターンが溶解等によって形状が劣化したことを意味する。従って、CH<sub>3</sub>Fガス及びHBrガスの混合ガスを用いた場合は、HBrガスを用いた場合に比べ、第1パターンが溶解等により形状が劣化し難くなっている。

40

【0106】

次に、現像液浸漬処理の前後でのパターンの縦寸法の変化を比較すると、CH<sub>3</sub>Fガス及びHBrガスの混合ガスを用いた場合は、HBrガスを用いた場合に比べ、パターンの縦寸法の増加分が少なくなっている。現像液浸漬処理後にパターンの縦寸法が増加することは、現像液浸漬処理によって第1パターンの下層であるBARCが溶解等によって形状が劣化したことを意味する。従って、CH<sub>3</sub>Fガス及びHBrガスの混合ガスを用いた場合は、HBrガスを用いた場合に比べ、第1パターンが溶解等により形状が劣化し難くなっている。

【0107】

50

また、有機溶剤に浸す処理を行った場合、現像液浸漬処理の前後で、 $\text{CH}_3\text{F}$ ガス及び $\text{HBr}$ ガスの混合ガスを用いた場合は、第1パターンの形状はほとんど変化しないが、 $\text{HBr}$ ガスを用いた場合は、第1パターンが溶解剥離してしまう。

【0108】

以上より、エッチングガスとして $\text{CH}_3\text{F}$ を含む場合は、 $\text{CH}_3\text{F}$ を含まない場合と比べ、第2パターンを形成する際の有機溶剤への浸漬処理及び現像液浸漬処理を行う際に、第1パターンの形状をほとんど変化させることなく保持することが可能である。

【0109】

更に、次に、実施例3として、実施例1と同一のトリミング処理条件でトリミングを行った後（トリミング処理の際のプロセス条件を表1に示す。）、引き続き、エッチング装置の処理容器内で、更に異なるエッチングガスを供給し、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積する保護膜堆積処理（レジストフリージング処理又はハードニング処理）を行った。保護膜堆積処理（レジストフリージング処理又はハードニング処理）の際の保護膜の堆積条件を表2の実施例3に示す。

【0110】

実施例3では、エッチングガスとして、 $\text{CH}_3\text{F}$ ガス及び $\text{SF}_6$ ガスの混合ガスを用いた。 $\text{CH}_3\text{F}$ ガス及び $\text{SF}_6$ ガスの流量は、それぞれ $200\text{ mL/min (sccm)}$ 、 $300\text{ mL/min (sccm)}$ とし、エッチング装置の処理容器内の圧力を $2.66\text{ Pa (20 mTorr)}$ とした。上部電極及び下部電極に印加するバイアス電圧を、それぞれ $600\text{ W}$ 及び $100\text{ W}$ とした。処理時間を $35\text{ sec}$ とした。その後、実施例1と同様に、保護膜を堆積させた基板をエッチング装置の処理容器から取出し、有機溶剤に浸す有機溶剤浸漬処理又は現像液に浸す現像液浸漬処理を行い、有機溶剤浸漬処理又は現像液浸漬処理の前後で、第1パターンのCD値寸法の測長を行った。実施例3を行って得られたパターンの幅寸法及び高さ寸法を表3の実施例3に示す。

【0111】

表3に示すように、現像液浸漬処理の前後でのパターンの幅寸法変化について、実施例3を実施例1と比較すると、 $\text{CH}_3\text{F}$ ガス及び $\text{HBr}$ ガスの混合ガスを用いた場合も、 $\text{CH}_3\text{F}$ ガス及び $\text{SF}_6$ ガスの混合ガスを用いた場合も、略同様な結果を示す。一方、現像液浸漬処理の前後での縦寸法変化を比較すると、 $\text{CH}_3\text{F}$ ガス及び $\text{SF}_6$ ガスの混合ガスを用いた場合は、 $\text{CH}_3\text{F}$ ガス及び $\text{HBr}$ ガスの混合ガスを用いた場合に比べ、Hの減少量が大きく、溶解したことを示している。

【0112】

従って、エッチングガスとして $\text{HBr}$ を含む場合は、 $\text{HBr}$ を含まない場合と比べ、第2パターンを形成する際の有機溶剤への浸漬処理及び現像液浸漬処理を行う際に、第1パターンの形状をほとんど変化させることなく保持することが可能である。

【0113】

以上より、エッチングガスが反応して生成する反応生成物よりなる保護膜を第1のレジスト膜よりなるパターン上に堆積し、第1パターンに加工した場合、第1パターンの有機溶剤及び現像液に対する耐性が向上することを見出した。また、 $\text{CH}_3\text{F}/\text{HBr}$ の混合ガスをエッチングガスとして用いる場合に、最も耐性が向上することを見出した。

【0114】

次に、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法の保護膜堆積ステップを行うことによって、LLEプロセスによって形成される微細パターンの形状の第1パターンを転写したパターンと第2パターンを転写したパターンの形状を同一にすることができる作用効果について説明する。

【0115】

前述したように、形状加工された第1のレジスト膜よりなるパターンに保護膜を堆積させることによって加工された第1パターンは、その後有機溶剤や現像液に浸漬した場合にもCD値やBARC厚を含めた第1パターンの高さであるHを含め、形状の変化が少ない。従って、保護膜が堆積され、加工された第1パターンは、第2パターンが形成される場

10

20

30

40

50

合に、形状が劣化しない。従って、シリコン酸化膜を用いることなく、保護膜堆積処理（レジストフリージング処理又はハードニング処理）の作用効果を確保することが可能である。

【0116】

加えて、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積させる場合、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜で被覆されることによって加工された第1パターンのエッチングレートと、第2パターンのエッチングレートとほぼ同一である。すなわち、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜で被覆されることによって加工された第1パターンエッチングレートと、第2パターンエッチングレートとの差は、反応生成物よりなる保護膜が、C、F、H、O等を含む膜であるため、シリコン酸化膜を保護膜が、Si、O等を含む場合の第1パターンエッチングレートと第2パターンエッチングレートとの差に比べて、小さい。従って、下層の例えばSiNよりなる薄膜をエッチングする場合に、第1パターンを転写したパターンの形状と、第2パターンを転写したパターンの形状との差異をより小さくすることができる。

10

【0117】

更に、第1のレジスト膜よりなるパターンにエッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積させることによって第1パターンに加工する場合、第1パターンのCD値は、保護膜の堆積厚で制御することができる。表4に、第1のパターン形成ステップの後、第1トリミングステップの後、及び実施例1の条件のうち堆積時間を変化させた場合の各堆積時間経過後のCD値を示す。ここで、CD変化量は、各堆積時間経過後のCD値から第1トリミングステップの後のCD値を差し引いた値である。

20

【0118】

【表4】

	堆積時間 (sec)	CD値 (nm)	第1形状加工 工程後からの CD変化量 (nm)
第1のパターン 形成ステップ後 (トリミング処理前)	-	63	-
第1トリミング ステップ後 (トリミング処理後)	-	31	-
保護膜堆積 ステップ	30	46	15
	55	60	29
	60	63	32

30

40

また、図7は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、実施例1の条件のうち堆積時間を変化させた場合の堆積時間とCD変化量との関係を示すグラフである。すなわち、図7は、表4のCD変化量のデータをグラフにプロットしたものである。

【0119】

表4に示す30sec、55sec、60secの3種類の堆積時間経過後のCD変化

50

量のデータに基づく3点をグラフにプロットし、CD変化量の堆積時間依存性に直線関係を仮定して回帰計算を行った結果、図7に示すように、堆積時間を $x$ 、CD変化量を $y$ 、相関係数を $R$ とすると、 $y = 0.5871x - 2.7097$ 、 $R^2 = 0.9968$ の結果が得られた。 $-2.7097$ の値が0に近く、 $R^2$ の値が1に近いことから、堆積時間とCD変化量の間には、略原点を通る直線関係があることが分かった。すなわち、堆積時間を調整することによって、任意にCD値を制御することが可能である。

#### 【0120】

従って、保護膜の堆積時間を調整することによって第1パターンのCD値を容易に制御することができる。また、第2パターンのトリミング処理の時間を調整することによって第2パターンのCD値も容易に制御することができる。また、第1のレジスト膜よりなるパターンを保護膜堆積処理（レジストフリーzing処理又はハードニング処理）し、第1パターンに加工することによって、第2パターンのトリミング処理の間に第1パターンのCD値が変化することがない。従って、第1パターンと第2パターンのCD値を略一致するように制御することができ、更に第1パターンを転写したパターンの形状と、第2パターンを転写したパターンの形状とを略一致させることができる。

10

#### 【0121】

更に、本実施の形態では、第1トリミングステップと保護膜堆積ステップとをエッチング装置の同一チャンパ内で行うため、工程を削減することができる。また、保護膜堆積ステップにおいて、エッチング装置のエッチングガスを用いることができるため、新たにガス供給系を設ける必要がない。

20

#### 【0122】

次に、図10を参照し、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法において、第1パターンと第2パターンの線幅を等しくなるように制御することができることを説明する。

#### 【0123】

図10は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法を従来と比較して説明するための図である。図10(a)は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、図10(b)は、従来の方法を説明するための図である。

#### 【0124】

本実施の形態に係る微細パターンの形成方法においては、第1トリミングステップのトリミング処理する時間と、保護膜堆積ステップの保護膜を堆積する時間とを制御することにより、所定の線幅を有する第1パターンに加工し、第2パターンの線幅が所定の線幅と等しくなるように、第2トリミングステップのトリミング処理する時間を制御することを特徴とする。

30

#### 【0125】

本実施の形態に係る微細パターンの形成方法では、図10(a)に示すように、第2パターンの線幅が所定の線幅を有する第1パターンのその所定の線幅と等しくなるように制御することが可能である。

#### 【0126】

まず、第1のパターン形成ステップを行う。第1のパターン形成ステップで形成されたパターンの線幅を $TM1$ とする。

40

#### 【0127】

次に、第1トリミングステップを行う。第1トリミングステップのトリミング処理する時間を $ts1$ とする。また、トリミング処理により第1のレジスト膜よりなるパターンの線幅が両側で合計 $TS1$ 減少するものとする。その結果、第1トリミングステップの後、トリミング処理された第1のレジスト膜よりなるパターンの線幅は、 $TM1 - TS1$ となる。

#### 【0128】

次に、保護膜堆積ステップを行う。保護膜堆積ステップの保護膜を堆積する時間を $td1$ とする。また、保護膜の堆積により第1のレジスト膜よりなるパターンの線幅が両側で合計 $TD1$ 増大するものとする。その結果、保護膜堆積ステップの後、加工されてでき

50

る第1パターンの線幅は、所定の幅である  $TM1 - TS1 + TD1$  となる。

【0129】

次に、第2のパターン形成ステップを行う。第2のパターン形成ステップで形成されたパターンの線幅を  $TM2$  とする。

【0130】

次に、第2トリミングステップを行う。第2トリミングステップのトリミング処理する時間を  $ts2$  とする。また、トリミング処理により第2のレジスト膜よりなるパターンの線幅が両側で合計  $TS2$  減少するものとする。その結果、第2トリミングステップの後、トリミング処理され、加工された第2パターンの線幅は、 $TM2 - TS2$  となる。

【0131】

ここで、従来 of 微細パターンの形成方法を用いる場合、保護膜堆積ステップにおいて、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜を堆積するのではなく、例えばアミノシラン系プリカーサと酸素含有ガスプラズマ又はオゾンガスとを用いて  $SiO_2$  膜を成膜する。 $SiO_2$  膜を保護膜として成膜した場合、保護膜堆積ステップにおいて、成膜速度が安定しない場合があり、図10(b)に示すように、保護膜堆積ステップにおいて、第1パターンの線幅が時間に対して直線的に変化しない場合がある。

【0132】

また、第2トリミングステップにおいて、 $SiO_2$  膜よりなる保護膜がトリミング処理でトリミングされる場合があり、図10(b)に示すように、第2トリミングステップが行われた後、第1パターンの線幅は、 $TM1 - TS1 + TD1 - TP1$  となる。このように、第2トリミングステップが行われる間に第1パターンの線幅が所定の線幅から変化してしまうため、第2パターンの線幅が所定の線幅から変化した第1パターンの線幅と等しくなるように制御することは困難である。また、 $SiO_2$  膜よりなる保護膜の線幅がトリミングされて細くなる速度が、第2パターンの線幅がトリミングされて細くなる速度よりも大きい場合もあり、第2パターンの最初の線幅が大きい場合に、トリミング処理を行う時間  $ts2$  を長くしても第2パターンの線幅を所定の線幅から変化した第1パターンの線幅と等しくなるように制御することはできない。

【0133】

一方、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法を用いる場合、図10(a)に示すように、保護膜堆積ステップにおいて、第1パターンの線幅が時間に対して直線的に変化する。従って、第1トリミングステップのトリミング処理する時間である  $ts1$ 、保護膜堆積ステップの保護膜を堆積する時間である  $td1$  を制御することによって、第1パターンの線幅を所定の幅である  $TM1 - TS1 + TD1$  に容易に制御することができる。

【0134】

また、第2トリミングステップにおいて、第1パターンを構成するエッチングガスの反応生成物よりなる保護膜は、トリミング処理されない。すなわち、第2トリミングステップを行った後においても、図10(a)に示すように、第1パターンの幅は、所定の幅である  $TM1 - TS1 + TD1$  のままである。従って、第2トリミングステップのトリミング処理する時間  $ts2$  を制御することにより、容易に、第2パターンの線幅を制御することができ、更に、所定の幅である  $TM1 - TS1 + TD1$  と等しくすることもできる。

【0135】

なお、時間制御の詳細については、以下のように行う。

【0136】

予め、第1パターン又は第2パターンのパターン幅(初期値)を測定しておく。次に、同一の条件で本実施の形態におけるトリミング処理又は保護膜堆積処理を実施し、適当な時間で処理を止め、そのときのパターン幅を測定する。ここで測定されたパターン幅と初期値との差を求める。そして、パターン幅の差と処理時間から、トリミング処理又は保護膜堆積処理における第1パターン又は第2パターンのパターン幅の増加率又は減少率(図10(a)における線の傾き)を算出する。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 3 7 】

以上、本実施の形態によれば、第1トリミングステップから保護膜堆積ステップまでの工程数を削減することができるとともに、第1パターンのCD値と第2パターンのCD値との差を小さくすることができ、第1パターンを転写した被エッチング層のパターンのCD値と、第2パターンを転写した被エッチング層のパターンのCD値との差を小さくすることができる。

(第2の実施の形態)

次に、図8乃至図9Cを参照し、本発明の第2の実施の形態に係る微細パターンの形成方法について説明する。

## 【 0 1 3 8 】

10

図8は、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法の各工程の手順を説明するためのフローチャートである。図9A乃至図9Cは、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法を説明するための図であり、各工程における微細パターンの構造を模式的に示す断面図である。また、図8のステップS21乃至ステップS31の各々の工程が行われた後の微細パターンの構造は、図9A(a)乃至図9C(k)の各々の断面図で示される構造に対応する。

## 【 0 1 3 9 】

本実施の形態に係る微細パターンの形成方法は、薄膜上にハードマスク膜を一層積層する点において、ハードマスク膜を有しない第1の実施の形態と相違する。

## 【 0 1 4 0 】

20

すなわち、本実施の形態に係る微細パターンの形成方法は、図8に示すように、第1の形状加工工程と、第2の形状加工工程と、エッチング工程とを有し、基板上に形成した薄膜の微細加工を行う微細パターンの形成方法である。始めに、第1の形状加工工程を行う。第1の形状加工工程は、薄膜、ハードマスク膜及び反射防止膜を形成するステップと、第1のレジスト膜を形成するステップと、第1のパターン形成ステップと、第1トリミングステップと、保護膜堆積ステップとを含む。第1の形状加工工程を行った後、第2の形状加工工程を行う。第2の形状加工工程は、第2のレジスト膜を形成するステップと、第2のパターン形成ステップと、第2トリミングステップとを含む。第2の形状加工工程を行った後、反射防止膜、保護膜、ハードマスク膜及び薄膜をエッチング処理するエッチング工程を行う。薄膜、ハードマスク膜及び反射防止膜を形成するステップはステップS21の工程を含み、第1のレジスト膜を形成するステップはステップS22の工程を含み、第1のパターン形成ステップはステップS23の工程を含み、第1トリミングステップはステップS24の工程を含み、保護膜堆積ステップはステップS25の工程を含み、第2のレジスト膜を形成するステップはステップS26の工程を含み、第2のパターン形成ステップはステップS27の工程を含み、第2トリミングステップはステップS28の工程を含み、エッチング工程はステップS29乃至ステップS31の工程を含む。

30

## 【 0 1 4 1 】

なお図8に示すように、ステップS24とステップS25の工程は、同一チャンバ(処理容器)内で連続処理される。

## 【 0 1 4 2 】

40

ステップS21は、基板上に薄膜及び反射防止膜を形成する工程である。図9A(a)は、ステップS21の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

## 【 0 1 4 3 】

ステップS21では、図9A(a)に示すように、半導体基板151上に、薄膜152及びハードマスク膜152aを形成する。薄膜152は後に微細パターンに加工される膜であり、ハードマスク膜152aは薄膜152を微細パターンにエッチングするためのエッチングマスクとなる膜であり、薄膜152と異なる膜よりなり、かつ、薄膜152に対してエッチング選択比がとれる膜よりなる。例えば、薄膜152が導電性ポリシリコン膜の場合には、ハードマスク膜152aには、例えばSiNやSiO<sub>2</sub>の絶縁膜が選ばれる。次いで、ハードマスク膜152a上に反射防止材料を塗布し、反射防止膜(BARC)

50

153を形成する。

【0144】

次に、ステップS22及びステップS23の1回目のフォトリソグラフィを行う。

【0145】

ステップS22は、第1のレジスト膜154を成膜する工程である。図9A(b)は、ステップS22の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

【0146】

図9A(b)に示すように、反射防止膜(BARC)153上にレジストを塗布し、第1のレジスト膜154を形成する。

【0147】

次に、ステップS23を含む第1のパターン形成ステップを行う。ステップS23は、成膜された第1のレジスト膜154を露光、現像して第1のレジスト膜よりなるパターン154aを形成する工程である。また、図9A(c)は、ステップS23の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

【0148】

図9A(c)に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて、第1のレジスト膜154を、第1のピッチp1を有し、第1のレジスト膜よりなるパターン154aに加工する。従って、第1のレジスト膜よりなるパターン154aは、第1のピッチp1で配列する。また、本実施の形態では、第1のレジスト膜よりなるパターン154aの一例として、第1のピッチp1を露光装置の解像限界とする。

【0149】

次に、ステップS24を含む第1トリミングステップを行う。ステップS24は、第1のレジスト膜よりなるパターン154aをトリミング処理(第1回トリミング処理)し、第1のレジスト膜よりなるパターン154bを形成する工程である。また、図9A(d)は、ステップS24の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。トリミング処理の方法は、特に限定されるものではなく、第1の実施の形態と同様の条件で行うことができる。

【0150】

また、本実施の形態において、ステップS24は、酸素含有ガスプラズマ又はオゾンガスを用い、エッチング装置の処理容器内で行われる。

【0151】

次に、ステップS24に引続いて、エッチング装置の処理容器内でステップS25の工程を含む保護膜堆積ステップを行う。ステップS25は、エッチング装置の処理容器内にエッチングガスを供給し、トリミング処理された第1のレジスト膜よりなるパターン154b及び反射防止膜(BARC)153上に、エッチングガスの反応生成物よりなる保護膜155を堆積させ、第1パターン154cに加工する保護膜堆積処理(レジストフリージング処理又はハードニング処理)を行う保護膜堆積ステップである。また、図9B(e)は、ステップS25の工程が行われた後の半導体装置の構造を示す断面図である。

【0152】

フルオロカーボンガス又はハロゲン含有ガスを含むエッチングガスをエッチング装置の処理容器内に供給し、エッチングガスが単独で又は第1のレジスト膜よりなるパターン154b若しくは反射防止膜(BARC)153の表面と反応して生成する反応生成物よりなる保護膜155を堆積するのは、第1の実施の形態と同様である。

【0153】

次に、ステップS26及びステップS27の2回目のフォトリソグラフィを行う。

【0154】

ステップS26は、第2のレジスト膜157を成膜する工程である。図9B(f)は、ステップS25の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。

【0155】

図9B(f)に示すように、保護膜155上にレジストを塗布し、第2のレジスト膜1

10

20

30

40

50



57を形成する。

【0156】

なお、ステップS25の工程が行われた後、ステップS26の工程を行う際に、保護膜155上に、再度反射防止材料を塗布して反射防止膜(BARC)を形成し、その後ステップS26を行ってもよい。その場合は、反射防止膜(BARC)が形成された保護膜155上にレジストを塗布し、第2のレジスト膜157を形成することになる。

【0157】

次に、ステップS27を含む第2のパターン形成ステップを行う。ステップS27は、成膜された第2のレジスト膜157を露光、現像して第2のピッチp2を有する第2のレジスト膜よりなるパターン157aを形成する工程である。また、図9B(g)は、ステップS27の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。このとき第2のレジスト膜よりなるパターン157aのピッチは、第2のピッチp2である。また、本実施の形態では、第2のレジスト膜よりなるパターン157aは、1回目のフォトリソグラフィでトリミング処理される前の第1のレジスト膜よりなるパターン154aと同じライン・アンド・スペースパターンである。従って、第2のレジスト膜よりなるパターン157aは、第1のピッチp1に略等しい第2のピッチp2で配列する。さらに、第2のレジスト膜よりなるパターン157aは、加工された第1パターン154cのライン間に配置され、第1パターン154cと第2のレジスト膜よりなるパターン157aとが交互に配置されるように加工する。すなわち、第2のレジスト膜よりなるパターン157aは、第1のピッチp1の略半分ずらして第1パターン154cと交互に配列する。

10

20

【0158】

次に、ステップS28を含む第2トリミングステップを行う。ステップS28は、第2のレジスト膜よりなるパターン157aをトリミング処理し、第2パターン157bに加工する工程である(第2回トリミング処理)。また、図9B(h)は、ステップS28の工程が行われた後の微細パターンの構造を示す断面図である。ここでも、トリミング処理の方法は、特に限定されるものではなく、トリミング処理の条件の一例は、酸素ラジカル、又はオゾンガスを含む雰囲気中、温度は室温~100である。

【0159】

第2回トリミング処理により、第1パターン154c及び第2パターン157bからなるレジストパターンが形成される。このレジストパターンは、第1パターン154cと第2パターン157bとが交互に配置されたパターンであるので、そのピッチp3は、ピッチp1、及びp2よりも狭いピッチ、本実施の形態では、ピッチp1及びp2のほぼ1/2のピッチとなる。このように、別々に形成された第1パターン154cと第2パターン157bとを交互に配置することで、解像限界以下のピッチを有するレジストパターンを形成することができる。

30

【0160】

その後、ステップS29乃至ステップS31のエッチング工程を行う。ステップS29は、反射防止膜(BARC)153及び保護膜155をエッチング処理する工程であり、図9C(i)に示すように、第1パターン154cに加工された第1のレジスト膜及び第2パターン157bに加工された第2のレジスト膜をエッチングのマスクに用いて、反射防止膜(BARC)153、及び保護膜155をエッチング処理する。ステップS30は、ハードマスク膜152aをエッチング処理する工程であり、図9C(j)に示すように、第1パターン154cに加工された第1のレジスト膜、第2パターン157bに加工された第2のレジスト膜、並びに反射防止膜(BARC)153及び保護膜155からなるパターンをエッチングのマスクに用いて、ハードマスク膜152aをエッチング処理する。ハードマスク膜152aは、第1パターン154c及び第2パターン157bよりなる第3パターンを有する。ステップS31は、薄膜152をエッチング処理する工程であり、図9C(k)に示すように、反射防止膜(BARC)153、保護膜155、第1パターン154cに加工された第1のレジスト膜、及び第2パターン157bに加工された第2のレジスト膜を除去した後、第3パターンに加工されたハードマスク膜152aをエッ

40

50

チングのマスクに用いて薄膜 152 をエッチングし、薄膜 152 を所望とする微細パターンに加工する。ハードマスク膜 152 a のピッチ  $p_3$  は、第 1 パターン 154 c 及び第 2 パターン 157 b よりなるパターンのピッチ  $p_3$  とほぼ同じであり、解像限界以下である。よって、ハードマスク膜 152 a をエッチングのマスクに用いてエッチングされた薄膜 152 のピッチ  $p_4$  は解像限界以下になる。このようにして、本実施の形態では、解像限界以下のピッチを有する微細パターンを形成することができる。

【0161】

また、本実施の形態では、ハードマスク膜 152 a を薄膜 152 に対して選択比の高い材料を用いることによって、第 1 の実施の形態よりも更に、薄膜 152 への形状の転写精度を高めることができる。更に、第 1 トリミングステップから保護膜堆積ステップを行うまでの工程数を削減できるとともに、第 1 パターンの CD 値と第 2 パターンの CD 値との差を小さくすることができることは、第 1 の実施の形態と同様である。従って、被エッチング層である薄膜をエッチングするためにハードマスク膜を加えて積層した構造を用いる場合においては、第 1 パターンを転写した被エッチング層のパターンの CD 値と、第 2 パターンを転写した被エッチング層のパターンの CD 値との差を更に小さくすることができる。

10

【0162】

以上、本発明の好ましい実施の形態について記述したが、本発明はかかる特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲内に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

20

【符号の説明】

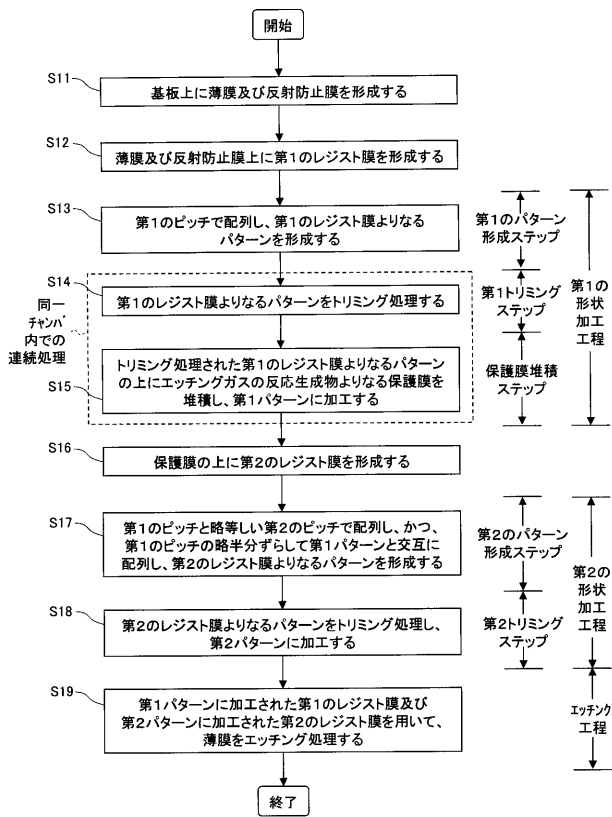
【0163】

- 20 エッチング装置
- 22 処理容器 (チャンバ)
- 23 載置台
- 24 シャワーヘッド
- 25 TMP
- 26 APCバルブ
- 27、35 高周波電源
- 28、36 整合器
- 29 下部ガス供給部
- 30 上部ガス供給部
- 31 第1のバッファ室
- 32 第2のバッファ室
- 33、34 ガス通気孔
- 40 成膜装置
- 101、151 半導体基板
- 102、152 薄膜
- 152a ハードマスク膜
- 103、153 反射防止膜 (BARC)
- 104、154 第1のレジスト膜
- 104a、104b、154a、154b 第1のレジスト膜よりなるパターン
- 104c、154c 第1パターン
- 105、155 保護膜
- 105a SiO<sub>2</sub>膜
- 107、157 第2のレジスト膜
- 107a、157a 第2のレジスト膜よりなるパターン
- 107b、157b 第2パターン

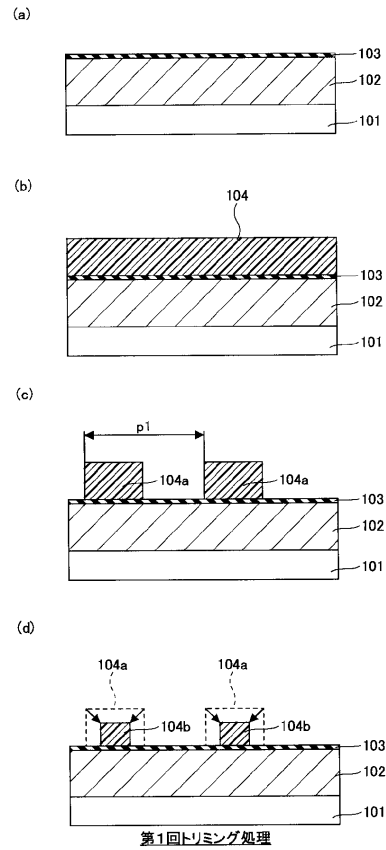
30

40

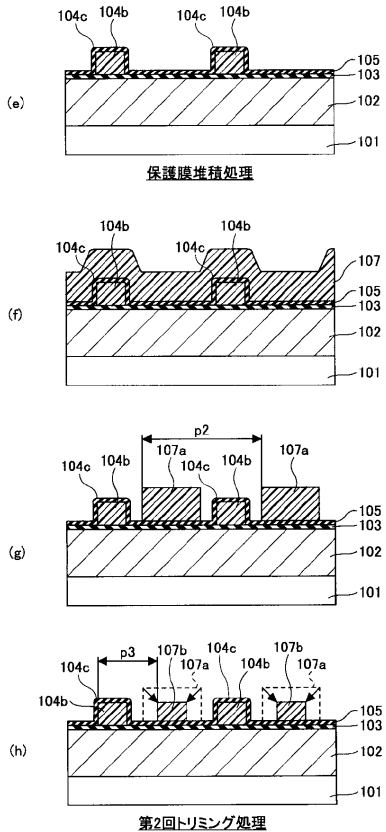
【 図 1 】



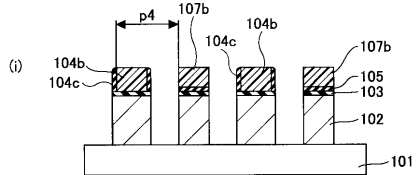
【 図 2 A 】



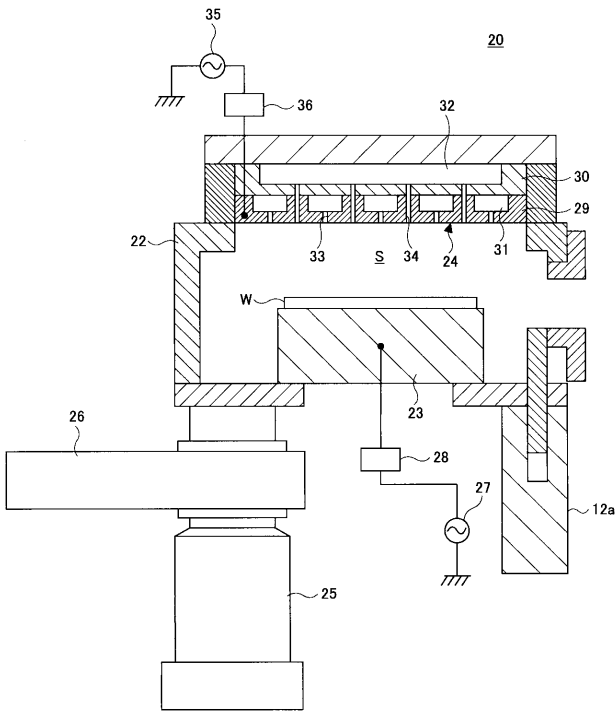
【 図 2 B 】



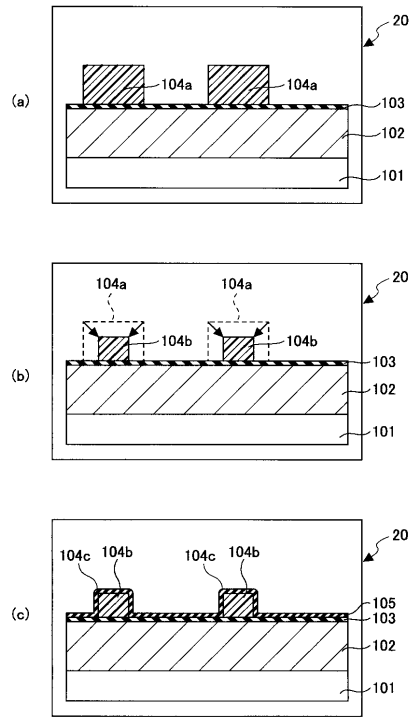
【 図 2 C 】



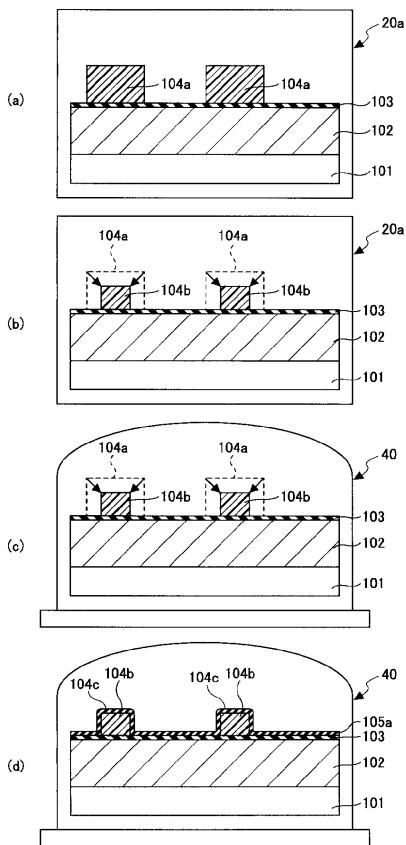
【 図 3 】



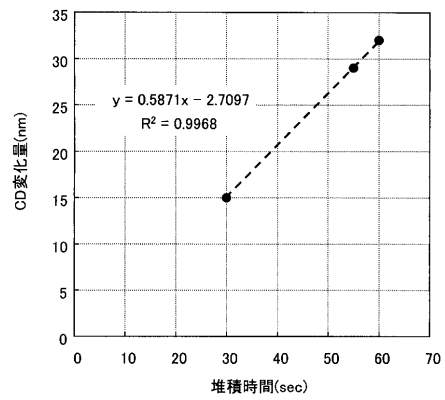
【 図 4 】



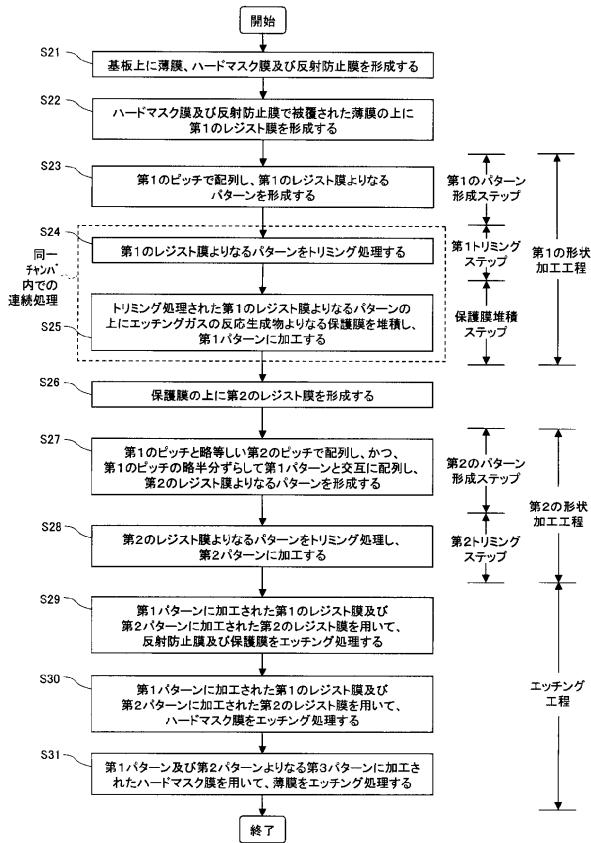
【 図 5 】



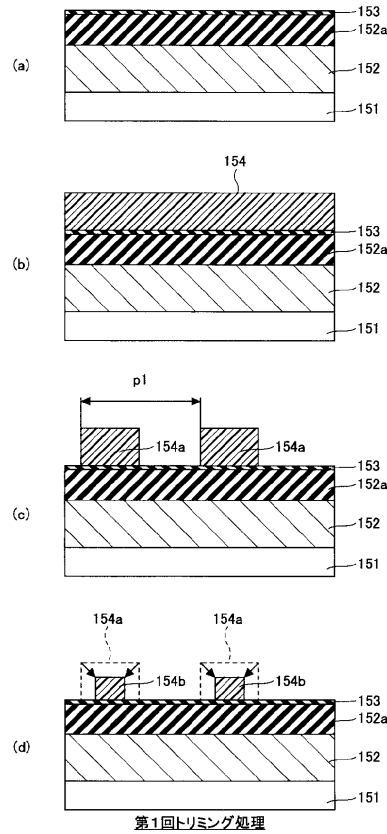
【 図 7 】



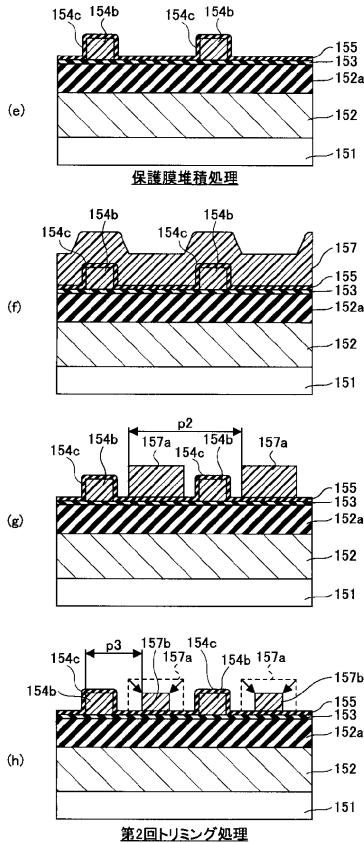
【図 8】



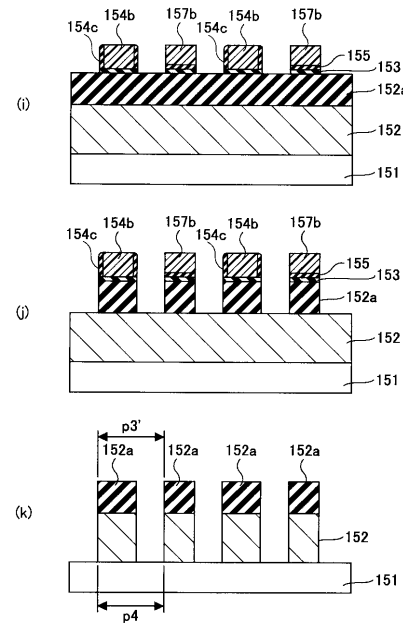
【図 9 A】



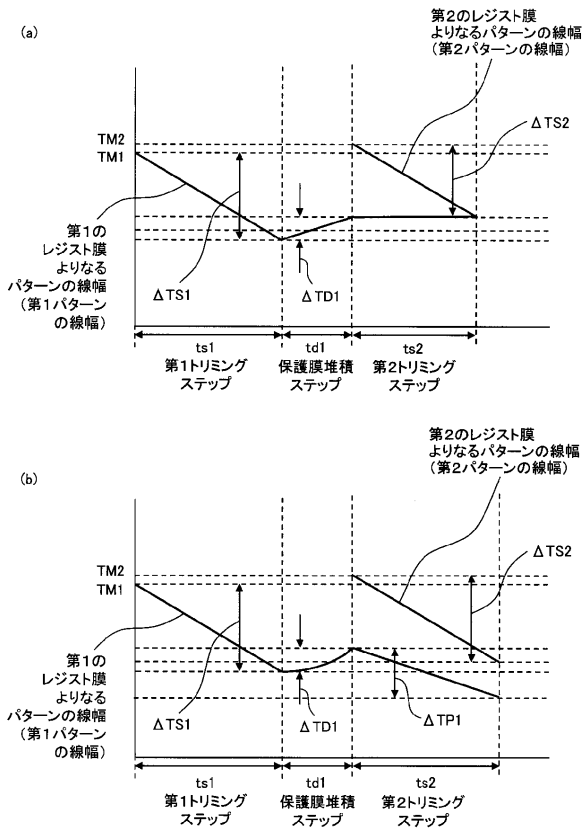
【図 9 B】



【図 9 C】



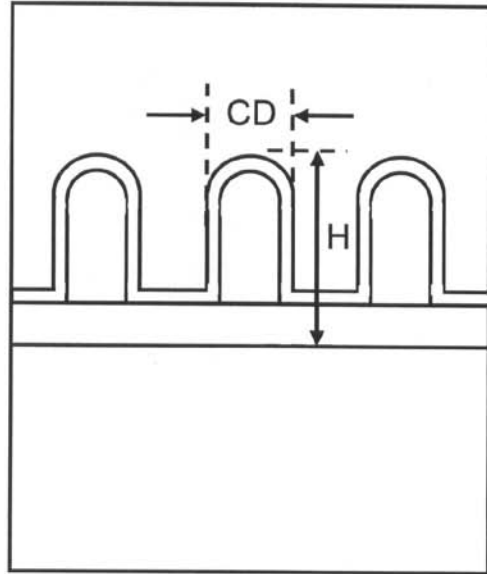
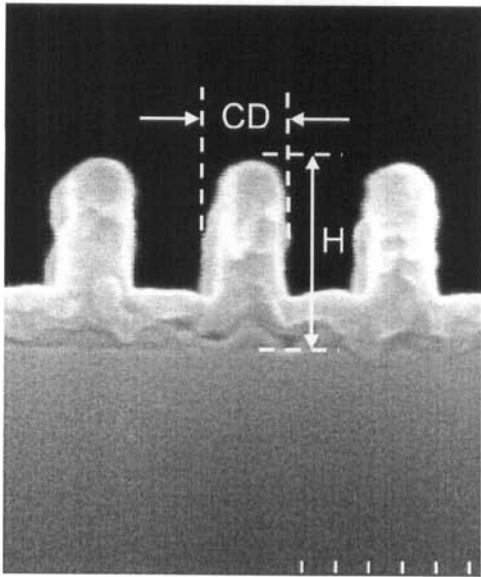
【 図 1 0 】



【図6】

(a)

保護膜を堆積した直後（現像液浸漬処理前）



(b)

現像液浸漬処理後

